

PERAN TUTUPAN HUTAN TERHADAP PENDUGAAN DEBIT BANJIR RENCANA DI DAS CIMANCEURI

The Role of Forest Cover in Flood Discharge Estimation in the Cimanceuri Watershed

Yaumiya Yahya¹, Hendrayanto^{2*}, Priyanto², Sri Rahaju², Qori Pebrial Ilham²

(Diterima 19 Mei 2026 /Disetujui 19 Juni 2026)

ABSTRACT

Design flood discharge is crucial for designing hydraulic structures to control flooding in watersheds. The most accurate way to estimate design flood discharges is through frequency analysis or empirical methods based on long-term historical discharge data. However, such long-term data are rarely available in Indonesia. This study aims to analyze the differences in the design flood discharge estimation model using the Rational Method and the SUH-Nakayasu Method, and the role of forest cover in the calculation of design flood discharge in the Cimanceuri Watershed. The results of the study showed that the Rational Method resulted in a higher estimated design flood discharge compared to the Nakayasu Method. Based on CHIRPS with a 2–100 year recurrence period of 61.4 mm/day–118.9 mm/day, the Rational Method produces a design flood discharge of 109.2–212.3 m³/sec at land use conditions (C) = 0.20 and 119.1–231.6 m³/sec at C = 0.24, while using the SUH-Nakayasu Method of 45.1–87.5 m³/sec at C = 0.20 and 53.7–104.1 m³/sec at C = 0.24 conditions. The composition of land use that produces a C value has a significant effect on the increase in peak discharge, and the role of forests is very large in the reduction of the C value.

Keywords: Cimanceuri watershed, flooding, flood discharge, rainfall

¹ Alumnus Program Sarjana Program Studi Manajemen Hutan, Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

² Departemen Manajemen Hutan, Fakultas Kehutanan dan Lingkungan, Institut Pertanian Bogor, Kampus IPB Dramaga, Bogor 16680

*Penulis korespondensi: Hendrayanto
e-mail: hendrayanto@apps.ipb.ac.id

PENDAHULUAN

Hutan memiliki fungsi hidrologis yang sangat penting dalam menjaga keseimbangan tata air di suatu Daerah Aliran Sungai (DAS). Vegetasi hutan berperan dalam meningkatkan infiltrasi, memperlambat aliran permukaan, menahan erosi, dan menstabilkan debit aliran sungai sepanjang tahun (Bruijnzeel 2004; Asdak 2018). Konversi hutan menjadi lahan pertanian dan permukiman di berbagai wilayah Indonesia telah menurunkan kemampuan ekosistem hutan dalam mengatur air. Akibatnya, risiko banjir meningkat terutama di daerah dengan intensitas pembangunan tinggi seperti Jawa Barat (KLHK 2021).

Banjir di Provinsi Jawa Barat selama 10 tahun terakhir 2015–2024 sebanyak 1.235 kejadian, dan 204 di antaranya terjadi di Kabupaten Bogor (BNPB 2025). Kabupaten Bogor merupakan wilayah hulu dari beberapa DAS, salah satunya adalah DAS Cimanceuri. Banjir menjadi salah satu bencana alam yang mengakibatkan kerugian ekonomi dan kerusakan lingkungan (Putranda 2022). Perlu upaya pengendalian bencana banjir untuk menekan potensi kejadian banjir. Upaya mitigasi sebelum terjadinya bencana banjir dengan melakukan tindakan konservasi tanah dan air di daratan (hulu sungai) dan pembangunan bangunan keairan di sungai dan saluran drainase. Perencanaan bangunan pengendali banjir memerlukan perancangan debit banjir rencana (*design flood discharge*), yaitu debit air maksimum atau aliran puncak yang mungkin terjadi di suatu patusan (outlet) DAS, Sub DAS dengan periode ulang tertentu (Sarminingsih 2018). Dalam konteks pengelolaan DAS berkelanjutan, informasi tentang debit banjir rencana sangat penting untuk mendukung perencanaan konservasi hutan dan infrastruktur pengendali banjir (Zhang *et al.* 2017; Gusli *et al.* 2020).

Perancangan debit banjir rencana memerlukan data debit jangka panjang, minimal 30 tahun, sebagai dasar dalam analisis frekuensi debit banjir (SNI 2415:2016). Data debit sungai di Indonesia yang telah dipublikasikan dari tahun 1954–2013 relatif meningkat, namun kualitas datanya menurun (Yuningsih 2019). Kelangkaan data debit sungai jangka panjang mendorong pengembangan metode pendugaan debit menggunakan parameter fisik DAS. Metode pendugaan debit berdasarkan parameter fisik DAS di antaranya adalah Metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu (Nakayasu 1985), HSS Snyder (Snyder 1938), HSS-SCS (USDA-SCS 1972), Limantara (Limantara 2006), HSS ITB I dan II (Natakusumah 2011), dan Gama I (Harto 1993). Pendugaan debit selain menggunakan HSS antara lain Soil and Water Assessment Tool (SWAT) (Arnold *et al.* 1998 dalam Neitsch *et al.* 2011) dan Hydrology Engineering Center–Hydrology Modeling System (HEC-HMS) (Feldman 2000).

Setiap metode pendugaan debit banjir rencana memiliki kelebihan dan kekurangan. Metode Rasional merupakan metode yang sederhana, mudah diaplikasikan pada saluran air di perkotaan, tidak memerlukan banyak data dalam perhitungannya, namun kekurangannya adalah hasil pendugaannya overestimate (Saputra *et al.* 2023). Metode ITB dan Limantara merupakan metode pendugaan debit yang dikembangkan masing-masing oleh ITB dan Universitas Brawijaya. Metode ini belum banyak digunakan di Indonesia dan masih memerlukan pengujian lebih lanjut (SNI 2415:2016). Metode yang sering digunakan dalam menghitung debit banjir rencana di Indonesia adalah metode Snyder dan Nakayasu (Safarina 2012). Metode SWAT yang dikembangkan oleh USDA-ARS (*United States Department of Agricultural Research Service*) memiliki kelebihan, yaitu dapat digunakan untuk menganalisis kualitas air, sedimentasi, dan debit yang dipengaruhi oleh perubahan penggunaan lahan. Kekurangan dari metode ini adalah data yang diperlukan sangat banyak dan perlu modifikasi dalam pendugaan neraca air untuk tanaman pertanian, khususnya sawah (Sapei dan Dzulfikar 2023). HEC-HMS (*Hydrology Engineering Center–Hydrology Modeling System*) merupakan sistem yang dikembangkan oleh US Army Corps of Engineers, memiliki kelebihan berdomain publik, mudah digunakan namun masih kurang populer karena ketidakpastian estimasi model (Halwatura dan Najim 2013).

Penelitian penggunaan berbagai metode pendugaan debit banjir rencana untuk menganalisis metode telah banyak dilakukan (Grimaldi dan Petroselli 2015; Sarminingsih 2018; Kamila *et al.* 2019, Fathi *et al.* 2021; Hidayat *et al.* 2022; Saputra *et al.* 2023; Vivekanandan *et al.* 2023), termasuk penelitian penggunaan Metode Rasional dan HSS Nakayasu. Namun hasil dari metode yang

digunakan dipengaruhi oleh karakteristik DAS dan curah hujan, dan interpretasi hasil perhitungan belum mempertimbangkan faktor ekologis, khususnya kondisi tutupan hutan. Pendugaan debit banjir rencana di DAS Cimanceuri belum pernah dilakukan, sehingga perlu dilakukan sebagai dasar dalam pengendalian banjir di DAS Cimanceuri

Berdasarkan rumusan masalah penelitian tersebut, seberapa besar perbedaan hasil pendugaan debit banjir rencana menggunakan Metode Rasional dan Metode Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu di DAS Cimanceuri dan bagaimana peran tutupan lahan khususnya hutan terhadap hasil perhitungan debit rencana menjadi pertanyaan kunci penelitian. Tujuan penelitian menganalisis perbedaan hasil pendugaan debit banjir rencana Metode Rasional dan Metode HSS Nakayasu di DAS Cimanceuri dan peran tutupan hutan terhadap hasil perhitungan debit rencana.

Hasil penelitian berkontribusi terhadap referensi terkait kelebihan-kelemahan metode pendugaan debit banjir rencana khususnya untuk Metode Rasional, dan Metode Hidrograf Satuan Sintesis Nakayasu dan pentingnya hutan dalam mereduksi nilai debit banjir rencana.

METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian dilaksanakan pada Januari–April 2025 di DAS Cimanceuri. Lokasi penelitian berada pada koordinat geografis 106°34'45,833" BT sampai 106°27'27,249" BT dan 6°26'54,483" LS sampai 6°3'2,672" LS. Panjang sungai utama 87 km dengan luas DAS 495,9 km². Cakupan wilayah DAS Cimanceuri terdiri atas Kabupaten Bogor dan Kabupaten Tangerang. Lokasi DAS Cimanceuri disajikan pada Gambar 1.

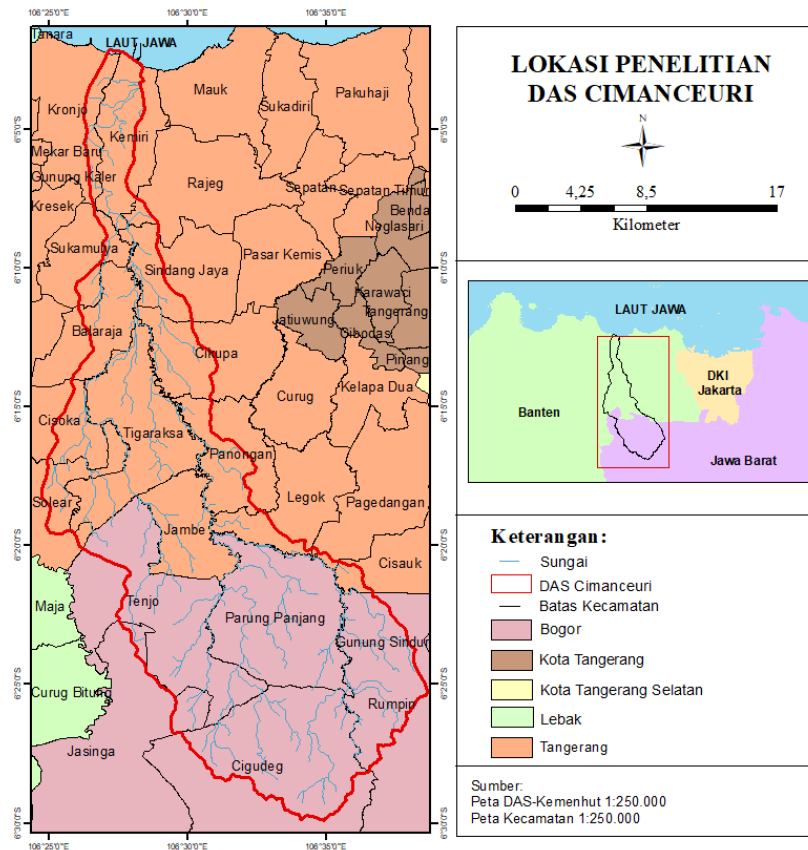
Alat dan Bahan

Peralatan yang digunakan meliputi laptop yang dilengkapi *software* Microsoft 2019, ArcGIS 10.8. Bahan penelitian berupa *shapefile* batas DAS dan penggunaan lahan tahun 2019 dan 2023 yang diunduh melalui website Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan (KLHK), raster file curah hujan *Climate Hazards Group Infrared Precipitation with Station Data* (CH_{CHIRPS}) periode 1985–2024 yang diunduh melalui (<https://app.climateengine.org/climateEngine>), serta data curah hujan observasi (CH_{obs}) dari Stasiun Meteorologi Budiarto tahun 1985–2024 yang diunduh melalui website BMKG.

Pengolahan dan Analisis Data

Analisis Sebaran Data

Analisis sebaran data hujan diperlukan untuk menentukan metode analisis frekuensi. Jenis sebaran data ditentukan berdasarkan persyaratan statistik seperti disajikan pada Tabel 1.



Gambar 1 Lokasi DAS Cimancheuri

Tabel 1 Syarat sebaran data

Jenis Sebaran	Syarat
Normal	$C_s = 0$
	$C_k = 3$
Log Normal	$C_s = 3 C_v + C_v^3$
	$C_k = C_v^8 + 6C_v + 15C_v^4 + 16C_v + 3$
Gumbel	$C_s = 1,1$
	$C_k = 5,4$
Log Pearson III	$C_s \neq 0$

C_s : koefisien *skewness*, C_k : koefisien kurtosis, C_v : koefisien variasi

Syarat sebaran data dihitung menggunakan persamaan (1–5).

a. Koefisien *skewness* (C_s)

Derajat ketidaksimetrisan atau kemencengan kurva distribusi yang berasal dari momen ketiga rata-rata

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^3}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot S_d^3} \quad (1)$$

Keterangan:

C_s = koefisien *skewness*

$\bar{X}$ = rata-rata (mm)

n = jumlah data

S_d = standar deviasi

x_i = nilai curah hujan ke- i (mm)

Rata-rata ($\bar{X}$) dihitung dengan rumus:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2)$$

- b. Standar deviasi atau simpangan baku (S_d)
Standar deviasi dihitung dengan rumus:

$$S_d = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3)$$

- c. Koefisien kurtosis (C_k)

Koefisien kurtosis digunakan untuk mengukur keruncingan kurva distribusi yang berasal dari momen keempat rata-rata.

$$C_k = \frac{n^2 \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^4}{(n-1) \cdot (n-2) \cdot (n-3) \cdot S_d^3} \quad (4)$$

Keterangan: C_k = koefisien kurtosis

- d. Koefisien variasi (C_v)

Koefisien variasi merupakan perbandingan antara simpangan baku dan rata-rata digunakan untuk mengukur variabilitas data.

$$C_v = \frac{S_d}{\bar{X}} \quad (5)$$

Keterangan: C_v = koefisien variasi

Analisis Uji Kecocokan

Uji jenis sebaran data terpilih menggunakan uji *Goodness of Fit* atau uji kecocokan (SNI 2415:2016). Pada penelitian digunakan Uji Smirnov-Kolmogorov dan uji *Chi*-Kuadrat.

Langkah pengujian menggunakan *Chi*-Kuadrat sebagai berikut:

1. Menghitung jumlah kelas dengan rumus:

$$K = 1 + 3,322 \log N \quad (6)$$

Keterangan: K = jumlah kelas; N = jumlah data

2. Menghitung peluang batas kelas:

$$P = \frac{1}{K} \times 100 \quad (7)$$

Keterangan: P = peluang batas kelas

Menghitung nilai derajat kebebasan. Nilai DK (derajat kebebasan) digunakan untuk menghitung *Chi*-kritik yang didapatkan dari tabel *Chi*-square.

$$DK = K - (P + 1) \quad (8)$$

3. Menghitung nilai frekuensi yang diharapkan

$$E_j = N/K \quad (9)$$

Keterangan:

E_j = frekuensi yang diharapkan

4. Menghitung nilai *Chi*-hitung dengan rumus sebagai berikut:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^k \frac{(O_j - E_j)^2}{E_j} \quad (10)$$

Keterangan:

O_j = frekuensi yang didapatkan

Nilai dari χ^2 harus lebih kecil daripada *Chi* tabel. Pada pengujian *Chi* Kuadrat digunakan tingkat kepercayaan sebesar 95%.

Uji Smirnov-Kolmogorov dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Menentukan peluang empiris masing-masing CH_{CHIRPS} maks dan CH_{obs} max menggunakan persamaan Weibull (persamaan 11):

$$p(e) = \frac{m}{N+1} \quad (11)$$

Keterangan: $p(e)$ = peluang empiris (%); m = urutan data ke- n ; N = jumlah data

2. Menentukan peluang teoritis $P(t)$

3. Mereduksi nilai $p(e)$ dan $P(t)$, menentukan nilai maksimum hasil reduksi

$$D_{maks} = |P(e) - P(t)| \quad (12)$$

Pembandingan dilakukan terhadap nilai D dan $D_{(N,\infty)}$ tabel yang diperoleh dari tabel uji Smirnov-Kolmogorov. Apabila $D_{maks} < D_{(N,\infty)}$, maka distribusi frekuensi dapat diterima.

Analisis Frekuensi

Analisis frekuensi curah hujan berdasarkan distribusi Normal, Log Normal, Gumbel, dan Log Pearson III menggunakan persamaan 13–18.

Distribusi Normal dihitung dengan rumus:

$$X = \bar{X} + (k \times S_d) \quad (13)$$

Keterangan:

X = curah hujan rencana (mm)

k = faktor frekuensi yang besarnya ditentukan oleh koefisien asimetri

Distribusi Log Normal dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\log X = \log \bar{X} + (k \times \log S_d) \quad (14)$$

$$X = 10^{\log x} \quad (15)$$

Distribusi Gumbel dihitung dengan rumus:

$$X = \bar{x} + \frac{1}{S_n} (Y - Y_n) \quad (16)$$

Keterangan:

S_n = reduce standard deviation

Y = reduce variate

Y_n = reduce mean

Nilai Y dihitung dengan rumus:

$$Y = -\ln\left[\ln \frac{Tr}{Tr-1}\right] \quad (17)$$

Keterangan: Tr = kala ulang (tahun)

Distribusi Log Pearson III, jenis sebaran data yang banyak digunakan untuk analisis debit banjir atau debit minimum (Schulz dan Nisa 2021).

$$\log X = \log \bar{X} + (k_{lp} \times \log S_d) \quad (18)$$

Curah hujan rancangan dihitung dengan rumus:

k_{lp} = faktor frekuensi berdasarkan tabel Kt distribusi Log Pearson III

Analisis Debit Banjir Rencana

Analisis debit banjir rencana menggunakan dua pendekatan yaitu, Metode Rasional (persamaan 19) dan Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu (persamaan 24).

Metode Rasional

$$Q = 0,278 \times C \times I \times A \quad (19)$$

Keterangan:

Q = debit banjir rencana (m^3/det)

C = koefisien aliran limpasan

I = intensitas hujan pada jam tertentu (mm)

A = luas DAS (km^2)

Nilai koefisien limpasan dihitung berdasarkan tutupan lahan DAS Cimanceuri

$$C = \frac{(C_i \times A)}{A} \quad (20)$$

Keterangan:

C_i = koefisien limpasan berdasarkan tutupan lahan

Intensitas curah hujan dihitung dengan Rumus Mononobe, Suripin (2004) dalam Schulz dan Nisa (2021) apabila tidak tersedia hujan jam-jaman Rumus Mononobe dapat dijadikan sebagai alternatif perhitungan:

$$I = \frac{R_{24}}{24} \left(\frac{24}{T_c} \right)^{2/3} \quad (21)$$

$$T_c = 0,0195 \left(\frac{L^{0,77}}{5^{0,385}} \right) \quad (22)$$

Keterangan: I = Intensitas curah hujan (mm/jam)

R_{24} = curah hujan rencana (mm)

T_c = waktu konsentrasi (jam)

Kemiringan suatu DAS dihitung dengan rumus:

$$S = \frac{H}{0,9 \times L} \quad (23)$$

Keterangan: L = panjang sungai (km)

H = beda tinggi (kmdpl)

Hidrograf Satuan Sintetik (HSS) Nakayasu

Pendugaan debit banjir rencana Nakayasu memerlukan curah hujan efektif atau curah hujan yang jatuh ke badan sungai untuk meningkatkan debit sungai. Hidrograf satuan atau kurva perbandingan antara debit dan waktu yang dibuat berdasarkan curah hujan 1 mm. Hidrograf satuan atau unit hidrograf digunakan untuk membuat kurva HSS Nakayasu berdasarkan distribusi curah hujan efektif. Putranda (2022) menyatakan hujan efektif di Indonesia biasanya terjadi selama 6 jam, sehingga distribusi curah hujan efektif dibuat selama enam jam. Debit puncak dihitung dengan rumus:

$$Q_p = \frac{C \times A \times R_0}{3,6(0,3T_p + T_{0,3})} \quad (24)$$

Keterangan:

Q_p = debit puncak (m^3/det)

R_0 = satuan hujan efektif (1 mm)

T_p = waktu mencapai puncak banjir (jam)

$T_{0,3}$ = waktu penurunan debit banjir dari puncak sebesar 30% Q_p

Waktu puncak (T_p) dihitung berdasarkan waktu konsentrasi hujan dan waktu

satuan curah hujan: $T_p = T_g + (0,8T_r)$ (25)

Rumus waktu konsentrasi hujan (T_g). Dengan ketentuan dari panjang sungai (L):

$$T_g = 0,4 + (0,058L), \quad L > 15 \text{ km} \quad (26)$$

$$T_g = 0,21(L^{0,7}), \quad L < 15 \text{ km} \quad (27)$$

Waktu satuan curah hujan (T_r), dihitung berdasarkan waktu konsentrasi hujan:

$$T_r = 0,75T_g \quad (28)$$

Waktu penurunan debit banjir sebesar 30% dihitung dengan:

$$T_{0,3} = \alpha \times T_g \quad (29)$$

$$\text{Nilai } \alpha \text{ dihitung dengan rumus } \alpha = \frac{0,47(AL)^{0,25}}{T_g} \quad (30)$$

Persamaan tenggang waktu untuk menentukan debit pada kurva Nakayasu, terdiri atas 2 bagian:

Waktu pada saat kurva naik: $0 \leq t < T_p$

$$Q_a = Q_p \times \left(\frac{t}{T_p} \right)^{2,4} \quad (31)$$

Waktu pada saat kurva turun:

$$T_p \leq t \leq (T_p + T_{0,3})$$

$$Q_{d1} = Q_p \times (0,3)^{\frac{t-T_p}{T_{0,3}}} \quad (32)$$

$$(T_p + T_{0,3}) \leq t \leq (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$$

$$Q_{d2} = Q_p \times (0,3)^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{1,5T_{0,3}}} \quad (33)$$

$$t > (T_p + T_{0,3} + 1,5T_{0,3})$$

$$Q_{d3} = Q_p \times (0,3)^{\frac{t-T_p+0,5T_{0,3}}{2T_{0,3}}} \quad (34)$$

HASIL DAN PEMBAHASAN

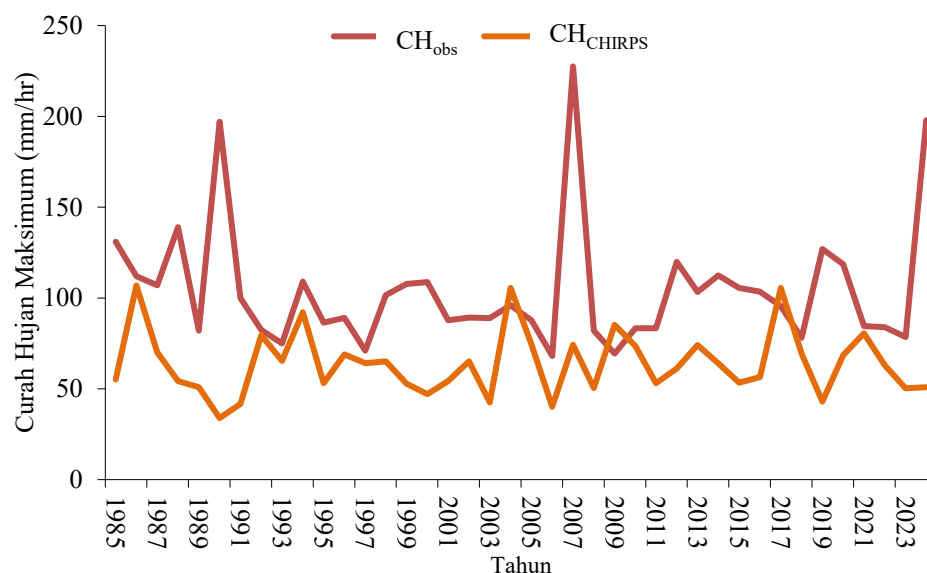
Curah Hujan

Curah hujan (CH_{CHIRPS}) harian rata-rata DAS Cimanceuri berkisar antara 0–106,9 mm/hari, dengan rata-rata 7,8 mm/hari, sedangkan (CH_{obs}) berkisar antara 0–227,5 mm/hari dengan rata-rata 5,9 mm/hari. Statistik CH_{CHIRPS} dan CH_{obs} 1985–2024 disajikan dalam Tabel 2. Curah Hujan (CH_{CHIRPS}) dan (CH_{obs}) maksimum harian setiap tahun disajikan pada Gambar 2.

Tabel 2 Statistik hujan harian CH_{CHIRPS} dan CH_{obs} 1985–2024

Parameter	CH_{CHIRPS}	CH_{obs}
Jumlah Data (N)	14.610	14.610
Jumlah H dengan $CH = 0$	4.382	8.646
CH Min (>1 mm/hr)	1,1	1,1
CH Max (mm/hr)	106,5	227,5
CH Rata-rata (mm/hr)	7,8	5,9
Jumlah HH (> 1 mm/hr)	9.393	5.085
Jumlah HH (≤ 1 mm/hr)	835	879

H: hari; HH: hari hujan

Gambar 2 Curah hujan harian maksimum CH_{CHIRPS} dan CH_{obs}

Nilai CH_{CHIRPS} maksimum tertinggi 106,9 mm/hr yang terjadi pada 13 Agustus 1986 dan terendah terjadi pada 29 Oktober 1990 sebesar 33,9 mm/hr, sedangkan nilai dari CH_{obs} maksimum tertinggi sebesar 227,5 mm/hr yang terjadi pada 1 Februari 2007 dan terendah sebesar 68,1 mm/hr terjadi pada 16 Februari 2006. Terjadi perbedaan waktu dan nilai antara CH_{CHIRPS} maks dan CH_{obs} maks, karena perbedaan cara pengukuran curah hujan. CH_{CHIRPS} diukur berdasarkan data satelit *infrared*, sedangkan CH_{obs} diukur pada satu titik di Bandar Udara Budiarto. Lokasi Bandar Udara Budiarto berjarak 2,64 km dari DAS Cimanceuri, dan tidak terdapat stasiun hujan yang lebih dekat dengan DAS Cimanceuri. Dalam kondisi keterbatasan stasiun hujan, data CH_{CHIRPS} lebih realistis digunakan sebagai representasi data hujan DAS Cimanceuri.

Sebaran Data Curah Hujan

Hasil perhitungan syarat pemilihan jenis sebaran data disajikan pada Tabel 3. Jenis sebaran data CH_{CHIRPS} maupun CH_{obs} yang sesuai adalah sebaran Log Pearson III.

Tabel 3 Syarat sebaran data CH_{CHIRPS} dan CH_{obs}

Jenis Sebaran	Syarat	Hasil		Keterangan
		CH_{CHIRPS}	CH_{obs}	
Normal	$C_s = 0$	0,7	2,2	Tidak diterima
	$C_k = 3$	10,9	27,7	Tidak diterima
Log Normal	$C_s = 3C_v + C_v^3$	0,05	1,3	Tidak diterima
	$C_k = C_v^8 + 6C_v + 15C_v^4 + 16C_v + 3$	9,3	17,7	Tidak diterima
Gumbel	$C_s = 1,1$	0,7	2,2	Tidak diterima
	$C_k = 5,4$	10,9	27,7	Tidak diterima
Log Pearson III	$C_s \neq 0$	0,05	1,3	Diterima

C_s : koefisien *skewness*, C_k : koefisien kurtosis, C_v : koefisien variasi

Kecocokan Distribusi

Hasil uji kecocokan sebaran Log Pearson III menggunakan Uji *Chi*-Kuadrat dan Uji Smirnov-Kolmogorov untuk CH_{CHIRPS} dan CH_{obs} masing-masing disajikan dalam Tabel 4 dan Tabel 5. Hal ini menunjukkan bahwa pola sebaran data CH_{CHIRPS} mempunyai kesamaan dengan data CH_{obs} .

Tabel 4 Hasil uji kecocokan sebaran Log Pearson III CH_{CHIRPS} maks

No	Distribusi	Uji <i>Chi</i> -Kuadrat		Kesimpulan	Uji Smirnov-Kolmogorov		Kesimpulan
		X^2 Tabel	Chi^2		D Kritis	D	
1.	Log Pearson III	7,815	2,6	Diterima	0,21	0,07	Diterima

Tabel 5 Hasil uji kecocokan sebaran Log Pearson III CH_{obs} maks

No	Distribusi	Uji <i>Chi</i> -Kuadrat		Kesimpulan	Uji Smirnov-Kolmogorov		Kesimpulan
		X^2 Tabel	Chi^2		D Kritis	D	
1.	Log Pearson III	7,815	3,2	Diterima	0,21	0,1	Diterima

Nilai curah hujan rancangan berdasarkan CH_{CHIRPS} dan CH_{obs} masing-masing disajikan dalam Tabel 6 dan Tabel 7. Hujan rancangan semakin lama kala ulang semakin tinggi nilainya. Hujan lebat biasanya jarang terjadi dalam jangka waktu pendek sehingga, hujan lebat atau curah hujan tinggi memiliki periode pengulangan lebih panjang serta memiliki peluang kejadian yang lebih kecil dibandingkan dengan hujan ringan hingga sedang. Curah hujan rancangan pada periode ulang yang sama berdasarkan data CHIRPS (CH_{CHIRPS}) lebih rendah dibandingkan CH rancangan berdasarkan data CH BMKG (CH_{obs}), yang berimplikasi pada debit rancangan yang lebih rendah apabila menggunakan data CH_{CHIRPS} .

Tabel 6 Hujan rancangan berdasarkan CH_{CHIRPS} maks

Kala Ulang (Tr) (Tahun)	Pr %	Sd	K	Rata-rata	Log	CH_{CHIRPS} rancangan (mm)
2	50	0,1	-0,02483		1,8	61,4
5	20		0,83357		1,9	77,3
10	10		1,29644	1,8	1,9	87,5
25	4		1,80089		2,0	100,3
50	2		2,13275		2,0	109,6
100	1		2,43529		2,1	118,9

Pr: Probabilitas, K: faktor frekuensi, Sd: standar deviasi, CH: curah hujan (mm)

Tabel 7 Curah hujan rancangan berdasarkan CH_{obs} maks

Kala Ulang (Tr) Tahun	Pr (%)	Sd	K	Rata-rata	Log	CH_{obs} rancangan (mm)
2	50		-0,21582		2,0	94,4
5	20		0,71417		2,1	121,7
10	10	0,1	1,33829	2,0	2,2	144,2
25	4		2,11537		2,3	178,3
50	2		2,68075		2,3	208,0
100	1		3,23289		2,4	241,8

Pr: probabilitas, K: faktor frekuensi, Sd: standar deviasi, CH: curah hujan (mm)

Debit Banjir Rencana

Metode Rasional

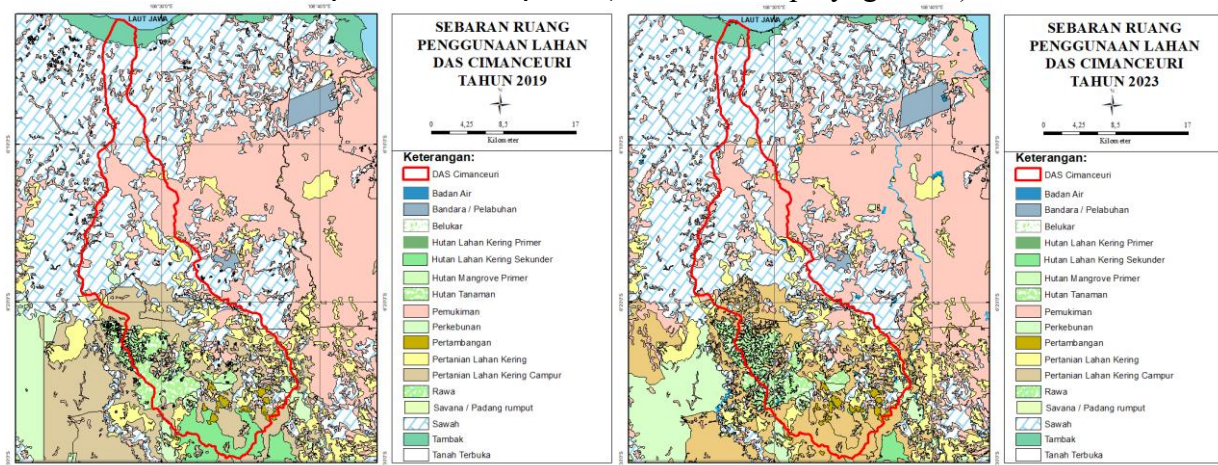
Intensitas curah hujan CH_{CHIRPS} dan CH_{obs} disajikan pada Tabel 8. Debit banjir rencana CH_{CHIRPS} dan CH_{obs} Metode Rasional disajikan dalam Tabel 9.

Tabel 8 Intensitas curah hujan berdasarkan CH_{CHIRPS} dan CH_{obs}

Tahun	CH rancangan (mm)		TC (jam)	I (mm/jam)	
	CH_{CHIRPS}	CH_{obs}		CH_{CHIRPS}	CH_{obs}
2	61,4	94,4		3,6	5,6
5	77,3	121,7		4,5	7,2
10	87,5	144,2	14,3	5,2	8,5
25	100,3	178,3		5,9	10,5
50	109,6	208		6,4	12,2
100	118,9	241,8		7	14,2

TC: waktu konsentrasi, I: intensitas curah hujan

Penggunaan lahan pada DAS Cimateuri tahun 2019 didominasi penggunaan lahan sawah 181 km², sedangkan penggunaan lahan tahun 2023 sawah mengalami penurunan 178,1 km². Tahun 2019 permukiman dengan luas 78,1 km² mengalami kenaikan pada tahun 2023 menjadi 90,9 km². Nilai koefisien limpasan berdasarkan tutupan lahan pada tahun 2019 sebesar 0,22 atau 22% mengalami perubahan, pada tahun 2023 terjadi penambahan 0,24. Air hujan yang turun menjadi limpasan permukaan sebesar 22% dan 24% sisanya terinfiltrasi dan menguap. Sebaran ruang penggunaan lahan DAS Cimateuri pada tahun 2019 dan 2023 disajikan dalam Gambar 3. Perubahan tutupan lahan memiliki kontribusi terhadap koefisien limpasan (Utami dan Suprayogi 2014).



Gambar 3 Sebaran ruang penggunaan lahan tahun 2019 dan 2023

Debit banjir rencana berdasarkan Metode Rasional disajikan pada Tabel 9. Nilai koefisien limpasan memengaruhi hasil pendugaan debit banjir rencana, semakin besar nilai koefisien limpasan

semakin besar debit banjirnya. Pendugaan berdasarkan CH_{CHIRPS} menghasilkan debit banjir sebesar ($119,1 \text{ m}^3/\text{det}$ sampai $231,6 \text{ m}^3/\text{det}$), sedangkan CH_{obs} menghasilkan pendugaan sebesar ($183,7 \text{ m}^3/\text{det}$ – $470,6 \text{ m}^3/\text{det}$). Hasil ini sejalan dengan perbedaan data CH_{CHIRPS} dengan CH_{obs} , yaitu CH_{CHIRPS} rencana lebih rendah dibandingkan dengan CH_{obs} rencana (Tabel 6 dan Tabel 7).

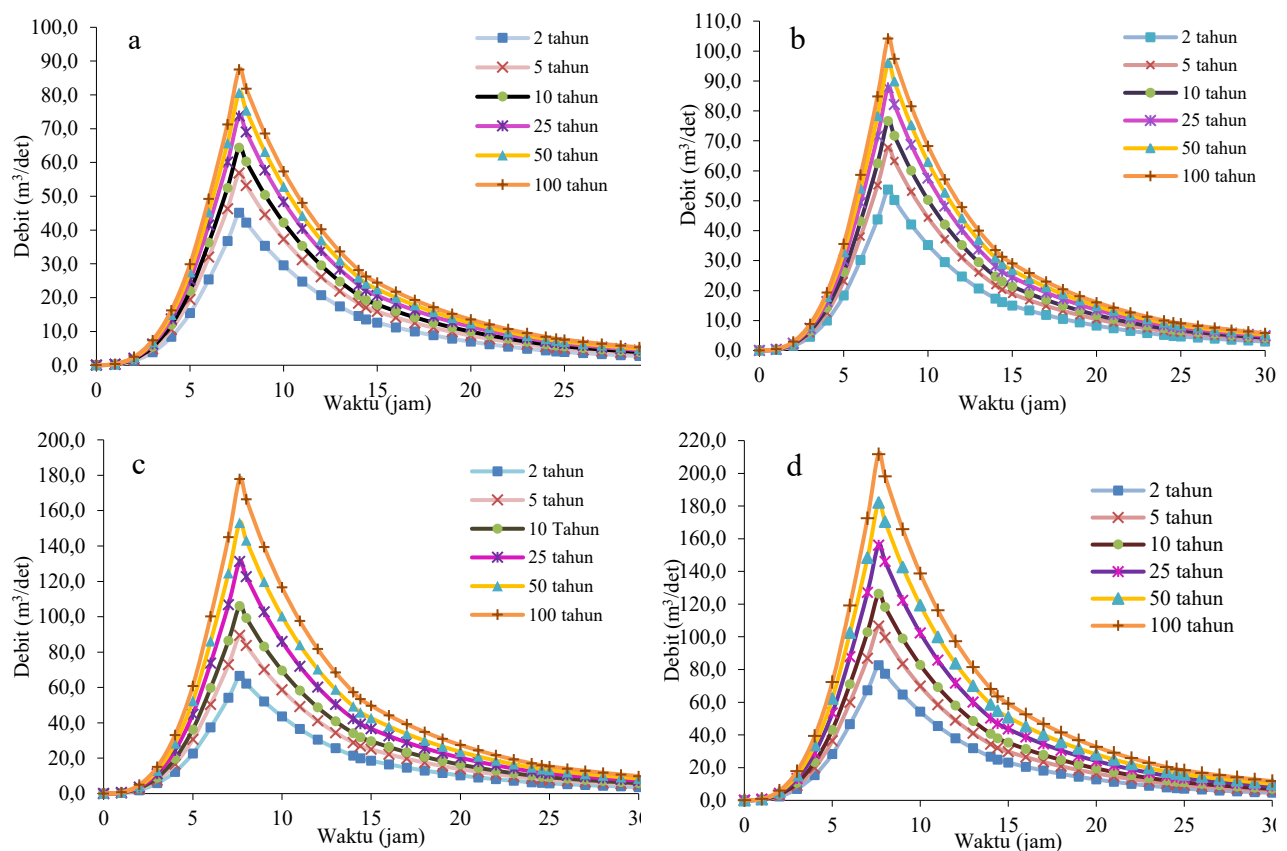
Tabel 9 Debit banjir rencana Metode Rasional

Tahun	K	C	A (km ²)	I (mm/jam)		Q(m ³ /det)	
				CH_{CHIRPS}	CH_{obs}	CH_{CHIRPS}	CH_{obs}
2	0,278	0,24	495,9	3,6	5,6	119,1	183,7
5	0,278		495,9	4,5	7,2	148,9	236,8
10	0,278		495,9	5,2	8,5	172,0	280,7
25	0,278		495,9	5,9	10,5	195,2	347,0
50	0,278		495,9	6,4	12,2	211,8	404,8
100	0,278		495,9	7	14,2	231,6	470,6

K: konstanta; C: koefisien limpasan; A: luas DAS; I: intensitas curah hujan; Q: debit banjir rencana

Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu

Grafik HSS Nakayasu berdasarkan CH_{CHIRPS} dan CH_{obs} berdasarkan koefisien limpasan disajikan pada Gambar 4. Pendugaan debit rencana mulai naik pada 1 jam pertama dan terus mengalami kenaikan hingga mencapai puncak pada jam ke-7,6 dengan nilai debit banjir rencana pada tahun 2023 berdasarkan CH_{CHIRPS} pada kala ulang 2 tahun ($53,7 \text{ m}^3/\text{det}$), kala ulang 5 tahun ($67,7 \text{ m}^3/\text{det}$), kala ulang 10 hingga 100 tahun ($76,7$ – $104,1 \text{ m}^3/\text{det}$), setelah itu kurva mengalami penurunan hingga jam ke-30. Debit banjir rencana berdasarkan pada tahun 2023 CH_{obs} kala ulang 2 ($82,7 \text{ m}^3/\text{det}$), pada kala ulang 5 tahun ($106,5 \text{ m}^3/\text{det}$), kala ulang 10 sampai 100 tahun ($126,3 \text{ m}^3/\text{det}$ sampai $211,7 \text{ m}^3/\text{det}$).

Gambar 4 Grafik HSS Nakayasu CH_{CHIRPS} tahun a) 2019; b) 2023; CH_{obs} tahun c) 2019; d) 2023

Debit banjir rencana berdasarkan CH_{obs} memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan debit CH_{CHIRPS} . Beberapa penelitian mengenai validasi CHIRPS terhadap curah hujan observasi,

pendugaan curah hujan CHIRPS memiliki nilai bias yang kecil terhadap curah hujan observasi di Maumere (Gerland *et al.* 2023), hasil dari validasi data CHIRPS baik dalam menduga kejadian hujan di Kalimantan Barat (Suryanto *et al.* 2023), curah hujan CHIRPS dapat menaksir kejadian hujan di Jakarta (Kurniyaningrum *et al.* 2024), sedangkan penelitian Maria *et al.* (2022) di Kabupaten Mojokerto TRMM memiliki nilai pendugaan curah hujan observasi lebih baik dibandingkan CHIRPS. Keterbatasan CH_{obs} di DAS Cimanceuri menjadikan CH_{CHIRPS} sebagai alternatif curah hujan dalam menduga debit banjir rencana. Curah Hujan CHIRPS memerlukan uji validasi untuk mengetahui keakuratan CH_{CHIRPS} dalam menduga curah hujan DAS Cimanceuri.

Kemampuan HSS Nakayasu untuk memodelkan variabel yang bersumber dari DAS yang besar dan kompleks menghasilkan MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) yaitu persentase kesalahan absolut rata-rata antara nilai aktual dan nilai prediksi yang lebih rendah dibandingkan dengan Metode Rasional (Kamila *et al.* 2019; Vivekanandan *et al.* 2023). Bentuk DAS secara signifikan memengaruhi karakteristik hidrograf. HSS Nakayasu sangat efektif di DAS dengan bentuk memanjang seperti halnya DAS Cimanceuri, karena memperhitungkan faktor bentuk dalam pemodelan parameter α . Menurut Hidayat *et al.* (2022) HSS Nakayasu menunjukkan MAPE yang lebih rendah dalam memodelkan waktu konsentrasi dan proses limpasan di DAS yang memanjang. Sebaliknya, Metode Rasional tidak secara eksplisit mempertimbangkan bentuk DAS, yang menyebabkan kesalahan lebih tinggi dalam kasus seperti itu. Model HSS Nakayasu lebih akurat untuk pendugaan debit dengan periode kecil (2–5 tahun), tetapi akurasi menurun untuk periode ulang yang lebih besar karena asumsinya yang sederhana (Vivekanandan *et al.* 2023). Metode HSS Nakayasu dengan kemampuannya untuk memodelkan peristiwa ekstrem menggunakan distribusi probabilitas Log Pearson III, menunjukkan MAPE yang lebih rendah untuk periode ulang yang lebih besar (Vivekanandan *et al.* 2023). Berdasarkan karakteristik DAS Cimanceuri yang sesuai dengan persyaratan akurasi metode pendugaan debit banjir rencana, hasil pendugaan debit banjir rencana menggunakan metode HSS Nakayasu lebih sesuai untuk digunakan di DAS Cimanceuri.

Metode Rasional maupun HSS Nakayasu keduanya menggunakan parameter koefisien limpasan/kekasaran yang dipengaruhi oleh bentuk penggunaan lahan pada suatu DAS. Perubahan penggunaan lahan menyebabkan peningkatan koefisien limpasan seperti yang terjadi di DAS Cimanceuri. Penggunaan lahan di DAS Cimanceuri sendiri mengalami perubahan dari tahun 2019 hingga 2023 yang menyebabkan perubahan koefisien limpasan (C) dari 0,22 menjadi 0,24. Peningkatan koefisien limpasan meningkatkan debit, umumnya disertai dengan peningkatan laju erosi yang akhirnya meningkatkan sedimentasi.

Perubahan penggunaan lahan yang menyebabkan peningkatan koefisien limpasan DAS Cimanceuri periode 2019–2023 disebabkan adanya konversi lahan vegetatif dan sawah menjadi kawasan permukiman, HTI menjadi permukiman, dan pertanian lahan kering campuran menjadi permukiman. Perubahan tersebut mengurangi infiltrasi, meningkatkan limpasan permukaan, dan berpotensi meningkatkan frekuensi serta besarnya banjir. Strategi utama untuk menurunkan koefisien limpasan adalah pengendalian alih fungsi lahan, rehabilitasi vegetasi di hulu DAS, penerapan teknik konservasi tanah dan air, serta pembangunan infrastruktur resapan dan retensi di kawasan terbangun.

SIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa Metode Rasional menghasilkan pendugaan debit banjir rencana lebih besar dibandingkan dengan Metode HSS Nakayasu. Berdasarkan Curah Hujan CHIRPS dengan kala ulang 2–100 tahun, sebesar 61,4 mm/hr–118,9 mm/hr, Metode Rasional menghasilkan debit banjir rencana 109,2–212,3 m³/det pada kondisi penggunaan lahan (C) = 0,22 dan 119,1–231,6 m³/det pada C = 0,24, sedangkan menggunakan Metode Hidrograf Satuan Sintetik Nakayasu 45,1–87,5 m³/det pada kondisi C = 0,22 dan 53,7–104,1 m³/det pada kondisi C = 0,24. Komposisi penggunaan lahan yang menghasilkan nilai C berpengaruh nyata terhadap peningkatan debit puncak, dan peran hutan sangat besar dalam penurunan nilai C.

DAFTAR PUSTAKA

- Arnold JG, Srinivasan R, Muttiah RS, William JR. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. *Journal of the American Water Resources Association*. 34(1):73–89. doi:10.1111/j.1752-1688.1998.tb05961.x.
- Asdak C. 2018. *Hidrologi dan Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*. Ed ke-6. Yogyakarta (ID): Gadjah Mada University Press.
- [BNPB] Badan Nasional Penanggulangan Bencana. 2025. Data Informasi Bencana Indonesia (DIBI) [internet]. [diakses 2025 Feb 27]. Tersedia pada: <https://dibi.bnpb.go.id/>.
- Bruijnzeel LA. 2004. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems & Environment*. 104(1):185–228. doi:10.1016/j.agee.2004.01.015.
- Fathi M, Abelmageed NB, Hassan M. 2021. A combination between synthetic unit hydrograph (SCS) and rational method in a similar conditions water shed. *Asian Journal of Engineering and Technology*. 9(3):50–61. doi:10.24203/ajet.v9i3.6622.
- Feldman AD. 2000. *Hydrologic Modeling System HEC-HMS: Technical Reference Manual*. Davis (US): US Army Corps of Engineers, Hydrologic Engineering Center.
- Gerland A, Dengo AES, Haryanto YD. 2023. Validasi data model prediksi curah hujan satelit GPM, GSMA, dan CHIRPS selama periode siklon tropis Seroja 2021 di Provinsi Nusa Tenggara Timur. *Geographia: Jurnal Pendidikan dan Penelitian Geografi*. 4(1):44–50.
- Grimaldi S, Petroselli A. 2015. Do we still need the rational formula? An alternative empirical procedure for peak discharge estimation in small and ungauged basins. *Hydrological Sciences Journal*. 60(1):67–77. doi:10.1080/02626667.2014.880546.
- Gusli S, Kaharuddin, Saparuddin. 2020. *Konservasi Tanah dan Air dalam Pengelolaan DAS*. Bogor (ID): IPB Press.
- Halwatura D, Najim MMM. 2013. Application of the HEC-HMS model for runoff simulation in a tropical catchment. *Environmental Modelling & Software*. 46:155–162. doi:10.1016/j.envsoft.2013.03.006.
- Harto S. 1993. *Hidrograf Satuan Sintetik Gama I*. Jakarta (ID): Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
- Hidayat AM, Limantara LM, Soetopo W, Sisinggih D. 2022. Alpha parameter modeling of Nakayasu synthetic unit hydrograph based on the watershed shape factor. *Journal of Hunan University Natural Sciences*. 49(1):31–37. doi:10.55463/issn.1674-2974.49.1.5.
- Kamila D, Limantara LM, Bisri M, Soetopo W. 2019. Alpha modeling of Nakayasu synthetic unit hydrograph for part of watersheds in Indonesia. *International Journal of Recent Technology and Engineering*. 8(4):5509–5514. doi:10.35940/ijrte.D8972.118419.
- [KLHK] Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan. 2021. *Panduan Rehabilitasi Hutan dan Lahan Berbasis DAS*. Jakarta (ID): Direktorat Jenderal Pengelolaan DAS dan Hutan Lindung, Kementerian Lingkungan Hidup dan Kehutanan.
- Kurniyaningrum E, Yanti S, Andajani S, Paramitha D, Sejati W. 2024. Analisis perubahan cuaca di Stasiun Halim DKI Jakarta menggunakan data satelit CHIRPS dan CanESM5. *Journal of Education Research*. 5(4):6438–6448.
- Limantara LM. 2006. *Model hidrograf satuan sintetis untuk DAS-DAS di sebagian Indonesia [disertasi]*. Malang (ID): Universitas Brawijaya.
- Maria A, Suhartanto E, Fidari JS. 2022. Validasi data curah hujan satelit dengan data stasiun di DAS Sadar, Kabupaten Mojokerto. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa Sumber Daya Air*. 2(1):367–375.
- Nakayasu S. 1985. *Flood runoff analysis and its application to the design of river structure*. Japan: Japanese Ministry of Construction.
- Natakusumah DK, Hatmoko W, Harlan D. 2011. Prosedur umum perhitungan hidrograf satuan sintetis (HSS) dengan cara ITB dan beberapa contoh penerapannya. *Jurnal Teknik Sipil ITB*. 18(3):251–291.
- Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR. 2011. *SWAT: Soil and Water Assessment Tool, Theoretical Documentation Version 2009*. Texas (US): Texas A&M University.

- Putranda J. 2022. Debit banjir rencana pada DAS Citanduy menggunakan metode hidrograf satuan sintetik Nakayasu, Hasper, Weduwen, Manonobe, dan analisis frekuensi. *Jurnal Konstruksia*. 14(1):152–161.
- Safarina AB. 2012. Kajian validitas berbagai metode hidrograf satuan sintetik dalam aplikasinya untuk daerah aliran sungai tak terukur. *Jurnal Sumber Daya Air*. 8(1):1–14.
- Sapei A, Dzulfiqar MF. 2023. Kinerja program Soil and Water Assessment Tools (SWAT) yang dimodifikasi untuk menduga debit Sub DAS Cimanuk Hulu. *Jurnal Teknik Sipil dan Lingkungan*. 8(3):152–166. doi:10.29244/jsil.8.3.157-166.
- Saputra AJ, Ayuni TP, Ginting JM. 2023. Analisis banjir metode hidrograf satuan sintetik SCS dan Nakayasu pada DAS Pesung, Batam. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*. 20(2):146–155.
- Sarminingsih A. 2018. Pemilihan metode analisis debit banjir rencana Embung Coyo, Kabupaten Grobogan. *Jurnal Presipitasi: Media Komunikasi dan Pengembangan Teknik Lingkungan*. 15(1):53–61.
- Schulz NG, Nisa MA. 2021. Analisis intensitas hujan di Sungai Sunter Jakarta Utara. *Jurnal Kajian Teknik Sipil*. 6(1):20–34.
- [SNI 2415] Standar Nasional Indonesia. 2016. Tata Cara Perhitungan Debit Banjir Rencana. Jakarta (ID): Badan Standardisasi Nasional.
- Snyder FF. 1938. Synthetic unit-graphs. *Transactions American Geophysical Union*. 19(1):447–454.
- Suripin. 2004. Sistem Drainase Perkotaan yang Berkelanjutan. Yogyakarta (ID): ANDI.
- Suryanto J, Amprin, Anisum. 2023. Validasi curah hujan harian CHIRPS precipitation satellite product di Provinsi Kalimantan Barat. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Pertanian dan Biosistem*. 11(1):73–88.
- [USDA-SCS] United States Department of Agriculture Soil Conservation Service. 1971. National Engineering Handbook, Section 4: Hydrology. Washington DC (US): U.S. Department of Agriculture.
- Vivekanandan N, Srishailam C, Patil RB. 2023. Intercomparison of rainfall estimates of three distributions for computation of PFD using rational formula and SUH approach. *Journal of Civil Engineering and Urbanism*. 13(1):10–17. doi:10.54203/jceu.2023.2.
- Yuningsih SM. 2019. Kondisi kualitas data debit sungai tahun 2015–2016 di Indonesia. *Jurnal Sumber Daya Air*. 15(1):39–54.
- Zhang B, He C, Burnham M, Zhang L. 2017. Evaluating the coupling effects of climate aridity and vegetation restoration on soil erosion over the Loess Plateau in China. *Science of the Total Environment*. 601–602:1182–1195. doi:10.1016/j.scitotenv.2017.05.283.